UDC: 004.932 https://doi.org/10.15407/jai2023.03.131

П.Ю. Сабельніков[1], Ю.А. Сабельніков [2], М.М. Синяков [3]
[1,2,3] Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Україна
просп. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187
[1] pavelsabel@gmail.com
[1] https://orcid.org/0000-0003-4709-8693
[2] https://orcid.org/0000-0003-3488-7140
[3] https://orcid.org/0009-0007-3872-0897

ВИЗНАЧЕННЯ ОРІЄНТАЦІЇ КРУГОВИХ ОБЛАСТЕЙ У ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯХ

Анотація. Одним із способів опису об'єктів на зображеннях є виявлення деяких їх характерних точок або точок уваги. Околи точок уваги описуються дескрипторами (множиною ознак) таким чином, щоб їх можна було ідентифікувати та порівняти. За цими ознаками здійснюється пошук тотожних точок на інших зображеннях. Процес виділення ознак повинен враховувати не тільки положення точки уваги, а й розмір та можливу форму локального сусідства.

Відомі різні методи пошуку тотожних характерних точок, які для їх опису використовують прямокутні або кругові околи. Прямокутні вікна, які використовуються для аналізу околів, не дозволяють виділяти однакові області на еталонному зображенні і зображенні, що повернуто і аналізується. Кругові ж вікна це дозволяють.

У статті запропоновано та досліджено алгоритми визначення орієнтації кругових областей у відеозображеннях, що дозволяє обчислювати додатково до інваріантних характеристик характеристики, які враховують розташування окремих ділянок таких областей. Це алгоритми:

- визначення орієнтації кругової області за моментами першого та другого порядку;
- обчислення взаємної орієнтації досліджуваної кругової області і еталону за моментами першого та другого порядку.

У результаті досліджень та експериментів встановлено, що в залежності від алгоритму і вмісту кругових областей можливі відхилення у визначенні їх напрямків орієнтації. Чинники, які на це впливають: точність пошуку характерних точок; застосування тих чи інших алгоритмів визначення орієнтації; відмінності в ракурсі відеозйомки еталонного зображення і зображення, що досліджується; розташування характерних точок всередині об'єкта або на його границі, особливо при зміні фону; розмір околів (вікон аналізу) характерних точок.

Видається доцільним продовжити дослідження точності визначення орієнтації кругових областей різними алгоритмами. Для зменшення впливу різних побічних факторів потрібно досліджувати штучні, а не реальні зображення.

Ключові слова: комп'ютерний зір, відеозображення, характерні точки, кругові області, інваріантні моменти

P. Sabelnikov[1], Yu. Sabelnikov [2], M. Syniakov [3]
[1,2,3] V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine
Academik Glushkov Avenue, 40, Kyiv, 03187
[1] pavelsabel@gmail.com
[1] https://orcid.org/0000-0003-4709-8693
[2] https://orcid.org/0000-0003-3488-7140
[3] https://orcid.org/0009-0007-3872-0897

DETERMINING THE ORIENTATION OF CIRCULAR AREAS IN VIDEO IMAGES

Abstract. One of the ways to describe objects in images is to identify some of their characteristic points, or points of attention. The neighborhoods of attention points are described by descriptors (sets of features) in such way that they can be identified and compared. Based on these features, the search for identical points on other images is carried out. The feature selection process should take into account not only the position of the focus point, but also the size and possible shape of the local neighborhood.

Different methods of finding identical characteristic points are known, which use rectangular or circular neighborhood to describe them. The rectangular windows used for neighborhood analysis do not allow selecting the same areas on the reference image and image which is rotated and analyzed. Round windows allow this.

The article proposes and studies algorithms for determining the orientation of circular areas in video images, which makes it possible to calculate, in addition to invariant characteristics, characteristics that take into account the location of individual sections of such areas. These are the algorithms:

- determination of the orientation of the circular area by moments of the first and second order;
- calculation of the mutual orientation of the investigated circular area and the standard according to the moments of the first and second order.

As a result of research and experiments, it was established that depending on the algorithm and the content of the circular areas, there are possible deviations in determining their orientation directions. Factors affecting this: accuracy of finding characteristic points; application of certain orientation determination algorithms; differences in the angle of video recording of the reference image and the image under investigation; the location of characteristic points, inside the object or on its border, especially when the background changes; size of neighborhood (analysis window) of characteristic points.

It seems appropriate to continue the research orientation determination accuracy of circular areas by various algorithms. To reduce the influence of various side factors, artificial rather than real images should be studied.

Keywords: computer vision, video images, characteristic points, circular regions, invariant moments.

Вступ

Одним із способів опису об’єктів зображень є виявлення деяких їх характерних точок або точок уваги. За рахунок таких точок виконується зіставлення об’єктів, а для пошуку і виявлення точок уваги застосовуються детектори. Якщо зображення може бути представлене набором таких точок уваги, то, звісно, можна суттєво знизити як надлишковість інформації, необхідної для обробки, так і час пошуку зображень.

Щоб локалізувати точки уваги у зображенні, потрібно аналізувати локальне сусідство пікселів, даючи всім локальним ознакам деяку просторову протяжність. Часто це сусідство береться рівним оточенню, яке використовується для визначення ознак. У цьому випадку замість «точки уваги» використовується термін «область».

Області околів точок уваги описуються дескрипторами таким чином, щоб їх можна було ідентифікувати та порівняти. Відомі різні методи пошуку тотожних точок уваги, які для їх опису використовують прямокутні або кругові околи.

SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [1] – один з найбільш відомих дескрипторів, який одночасно є детектором. Для інваріантності, стосовно масштабу, аналізуються прямокутні області різного розміру.

Дескриптор SURF (Speeded up Robust Features) [2] також належить до тих дескрипторів, які одночасно виконують пошук особливих точок і створюють їхній опис, інваріантний до зміни масштабу й перетворення типу «поворот».

Дескриптор GLOH (Gradient Location-Orientation Histogram) [3] побудований з метою підвищення надійності Sift-дескриптора. По факту обчислюється Sift-дескриптор, але використовується полярна сітка розбивки околу.

При розробці дескриптора DAISY [4] були використані ідеї побудови SIFT- і Gloh-дескрипторів. Аналогічно GLOH, вибирається круговий окіл особливої точки, при цьому окремі блоки представляються не частковими секторами, а колами.

Ціль створення дескриптора BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) [5] полягала в тому, щоб забезпечити розпізнавання однакових ділянок зображення, які були отримані з різних кутів огляду. При цьому ставилося завдання зменшити кількість виконуваних обчислень. Невелика кількість операцій забезпечується представленням вектора ознак у вигляді бінарного рядка і використанням відстані Хеммінга як засобу подібності. Більш ефективною альтернативою дескрипторам BRIEF і SIFT є бінарний дескриптор ORB [6].

У статті [7] представлено метод пошуку тотожних точок із використанням інваріантних моментів. Незважаючи на інваріантність до поворотів опису околів точок, метод не придатний до значних обертань зображень. Прямокутні вікна, які використовуються для аналізу околів, не дозволяють виділяти однакові області на еталонному і зображенні, що повернуто і аналізується (дивись рис. 1). Кругові ж вікна це дозволяють.

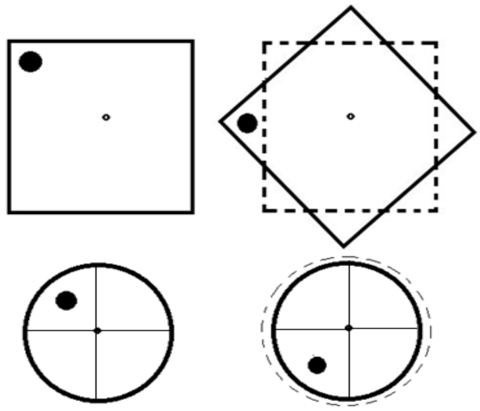


Рис.1. а – околи точок на еталонних зображеннях (суцільна лінія), б – околи точок на повернутих зображеннях (суцільна лінія) та вікна аналізу зображень (пунктирна лінія)

Мета цієї роботи – розробити та дослідити алгоритми визначення орієнтації кругових областей у відеозображеннях, що дозволить обчислити додатково до інваріантних характеристик характеристики, які враховують розташування окремих ділянок таких областей.

Наведений нижче підхід до визначення орієнтації об'єктів запропонований у монографіях [8, 9]. Він ґрунтується на використанні геометричних моментів. У монографіях розглядаються несиметричні обмежені контурами області зображень. За центр координат для обчислень береться центр тяжкості об'єктів, розташування якого не залежить від їх зміщення, повороту й зміни масштабу.

Особливістю пропонованих у даній статті рішень є те, що розглядаються кругові області з центром координат у центрах кругів та з дещо іншою інтерпретацією обчислень.

Для підтвердження й ілюстрації результатів проведено експериментальні дослідження.

Визначення орієнтації за напрямком від центру кругової області до центру її тяжіння

У найпростішому варіанті вектором орієнтації буде вектор, який направлений від центра кругової області до центра її тяжкості, за умовою, що ці центри не співпадають. Обрахунок координат центра тяжкості досить простий і здійснюється за моментами нульового та першого порядків. Не будемо розглядати загальні питання обчислення моментів та їх перетворення стосовно зміщення, обертання та зміни масштабу. Ці питання детально розглянуто в багаточисленній літературі, наприклад в [7].

Моменти обчислюються за виразом:

$$M_{l,k\text{-}l} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot x_i^l \cdot y_i^{k-l},$$

де:
N – кількість точок кругової області,
(x_i, y_i) – координати точок відносно центра круга,
p_i – яскравість точок,
$M_{l,k\text{-}l}$ – моменти порядку k (l=0…k).

Згідно з наведеним виразом, моменти нульового та першого порядків обчислюються як:

$$M_{00} = \sum_{i=1}^{N} p_i\ ,\ \ M_{10} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot x_i\ ,\ \ M_{01} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot y_i\ .$$

Координати центра тяжіння дорівнюють:

$$x_ц = M_{10}/M_{00},\ y_ц = M_{10}/M_{00}.$$

Для наглядної ілюстрації результатів досліджень було взято два окремих кадри розміром 640x360 пікселів із відеопослідовності [10]. Зображення на кадрах повернені один відносно другого і зняті трохи з різних ракурсів. На еталонному кадрі 1 обирались точки, а у кадрі 2 було здійснено їх пошук. Попередньо зображення кадрів 1 і 2 було перетворено у напівтонові представлення та згладжено фільтром Гауса. В якості

характерних точок використовувались кутові точки об’єктів зображення. Пошук координат кутових точок на кадрі 1 (помічено хрестиками, дивись рис. 2) здійснювався автоматично, з використанням функцій бібліотеки OpenCV. На кадрі 2 тотожні точки були знайдені за алгоритмами авторів статті (помічено векторами, які виходять із цих точок). Довгі - це вектори орієнтації, обчислені для точок кадру 1, короткі - для знайдених точок на кадрі 2. Для обчислення векторів орієнтації було обрано кругові околи точок діаметром 41 піксель.



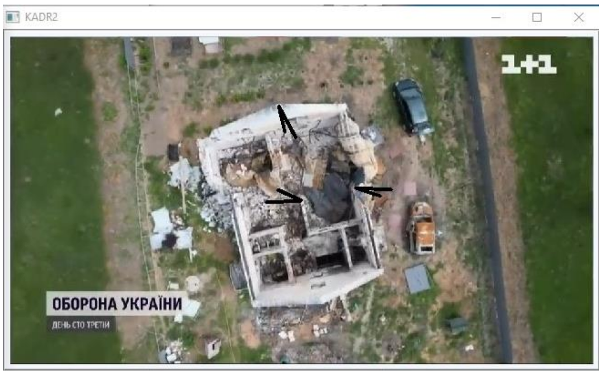


Рис. 2. Зображення кадрів 1 і 2 з поміченими заданими і знайденими точками та векторами орієнтації

В таблиці 1 для оцінки величини зміщення представлено координати центрів тяжкості точок відносно центра кругової області, взятої за центр координат. Враховувати (надалі також), що координати вправо (x) та вниз (y) від центру координат – позитивні, а вліво та вгору – негативні. Координати обчислено з плаваючою комою та надано в кількості і долях пікселів зображення. Вектори спрямованості на рисунку збільшено і координати їх кінців округлені до цілих чисел.

Таблиця 1. Координати центрів тяжіння околів точок еталона і об’єкта

№ точки	Координати центра тяжіння еталона		Координати центра тяжіння об’єкта	
	x	*y*	*x*	*y*
1	1,224	2,226	0,604	2,483
2	-0,830	0,054	-0,848	-0,409
3	4,694	0,249	4,287	1,339

Обчислення взаємної орієнтації досліджуваної кругової області і еталону за моментами першого порядку

Позначимо: M_{10}, M_{01}, – моменти еталону, M^*_{10}, M^*_{01}, – моменти досліджуваної кругової області. Якщо припустити, що еталон співпадає з повернутою досліджуваною областю, то повинні виконуватися такі рівності:

$$M_{10} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \left(x_i^* \cdot \cos\gamma - y_i^* \cdot \sin\gamma\right) = M_{10}^* \cdot \cos\gamma - M_{01}^* \cdot \sin\gamma ,$$

$$M_{01} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \left(y_i^* \cos\gamma + x_i^* \sin\gamma\right) = M_{01}^* \cos\gamma + M_{10}^* \sin\gamma .$$

Рішенням системи двох рівнянь з двома невідомими буде вектор повороту $cos\gamma$, $sin\gamma$:

$$\cos\gamma = \frac{M_{01} \cdot M_{01}^* + M_{10} \cdot M_{10}^*}{\left(M_{10}^*\right)^2 + \left(M_{10}^*\right)^2},$$

$$\sin\gamma = \frac{M_{10} \cdot M_{01}^* - M_{01} \cdot M_{10}^*}{\left(M_{01}^*\right)^2 + \left(M_{10}^*\right)^2}.$$

Випадок, коли $|cos\gamma|$ чи $|sin\gamma|$ або $(cos^2\gamma + sin^2\gamma)$ більше 1, свідчить про те, що аналізований об’єкт не відповідає еталону і подальші дії не здійснюються.

Визначення орієнтації кругової області по характерній прямій

Характерною прямою є пряма лінія, що перетинає об’єкт і напрямок якої можна обчислити при будь-якому його положенні, орієнтації і масштабі. Однією з прямих, напрямок якої піддається

обчисленню, є пряма, що проходить через центр кругової області і мінімізує (максимізує) квадрат відстаней до неї всіх точок, замкнених кругом.

Як відомо, вид функції, що задає пряму, наступний: $y = Ax + b$.

Відстань h_i від деякої точки з координатами (x_i, y_i) до цієї прямої обчислюється за виразом, наданим в [11]:

$$h_i = \frac{Ax_i + b - y_i}{\sqrt{A^2 + 1}};$$

Оскільки пряма проходить через центр круга з координатами $x_0 = 0, y_0 = 0$, то $b = 0$, а вираз приймає вид:

$$h_i = \frac{Ax_i - y_i}{\sqrt{A^2 + 1}}.$$

Потрібно мінімізувати (максимізувати) $\sum_{i=1}^{N} p_i \cdot h_i^2$, тобто знайти екстремуми функції однієї змінної

$$f(A) = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \left(\frac{Ax_i - y_i}{\sqrt{A^2 + 1}} \right)^2,$$

де N – кількість точок кругової області, (x_i, y_i) - координати цих точок.

Перетворюємо цю функцію до виду:

$$f(A) = \frac{1}{A^2 + 1}\left(M_{20} \cdot A^2 - 2 \cdot M_{11} \cdot A + M_{02}\right),$$

де: $M_{20} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot x_i^{\,2}$, $M_{11} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot x_i \cdot y_i$,

$$M_{02} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot y_i^{\,2}.$$

Тоді для знаходження екстремумів похідна

$$f_A^1(A) = \frac{M_{11}A^2 + 2(M_{20} - M_{02})A - 2M_{11}}{(A^2 + 1)^2} = 0,$$

тобто $M_{11} \cdot A^2 + 2(M_{20} - M_{02})A - 2 \cdot M_{11} = 0$, звідки

$$A = \frac{(M_{02} - M_{20}) \pm \sqrt{(M_{20} - M_{02})^2 + 4 \cdot M_{11}^2}}{2 \cdot M_{11}},$$

яке обов'язково приймає одне або два значення при $M_{11} \neq 0$. Вибираються такі A, при яких на еталонній та аналізованій області отримуємо однакові значення $f(A)$ максимум або мінімум.

Також, оскільки A може приймати значення від $-\infty$ до $+\infty$, обчислюємо $A = \mathrm{tg}(\gamma)$ при

$$\left|(M_{20} - M_{02}) \pm \sqrt{(M_{20} - M_{02})^2 + 4 \cdot M_{11}^2}\right|$$

менше ніж $|2 \cdot M_{11}|$ або $A^* = \frac{1}{A} = c\mathrm{tg}(\gamma)$, якщо навпаки. В подальшому ними простіше буде оперувати, бо їх діапазон від -1 до +1.

Слід враховувати, що обчислені коефіцієнти $A\,(A^*)$ надають два вектори орієнтації γ та $\gamma + \pi$. Тому на рис. 3 вектори орієнтації кругових областей для випадку максимізації $f(A)$ представлено прямими лініями, що перетинаються у знайдених точках у кадрі 2.



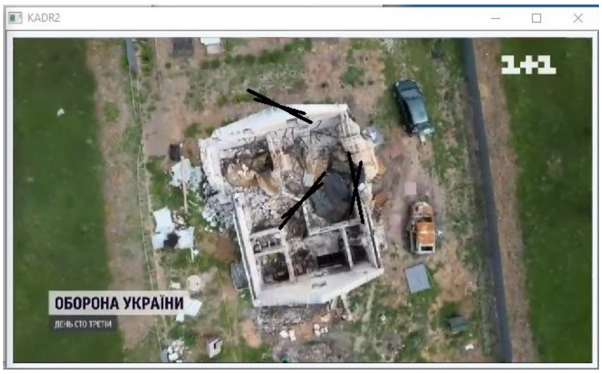
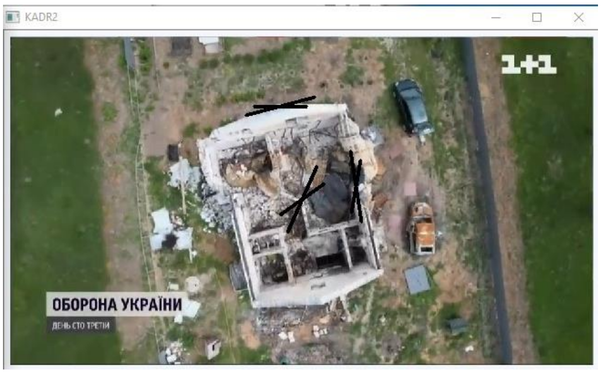


Рис. 3. Зображення кадрів 1 і 2 з поміченими заданими і знайденими точками та прямими орієнтації

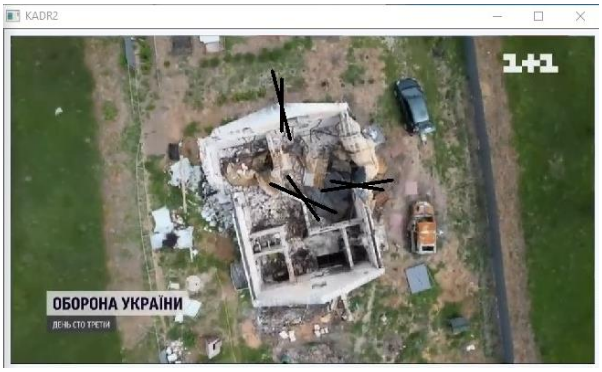
Аналогічно, довгі - це прямі, обчислені для точок кадру 1, короткі - для знайдених точок на кадрі 2.

З рис. 3 видно, що області точок 2 і 3 досліджуваного об'єкта відносно еталону повернуті за годинниковою стрілкою, а точки 1 - проти годинникової стрілки, що не співпадає з напрямком обертання

об'єкта. Тобто, при малих розбіжностях в орієнтації можлива похибка навіть у напрямку обертання. Додатково проведено дослідження зі зміною розміру кругової області. Було взято область діаметром 31 піксель та перевірено 2 випадки – максимізації і мінімізації $f(A)$ (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Зображення кадру 2 з результатами для діаметру області 31 піксель, а – максимізація $f(A)$, б – мінімізація $f(A)$

З такими умовами для всіх трьох точок напрямок обертання правильний. Для точки 1 зменшено вплив фону поза межею об'єкта.

Обчислення взаємної орієнтації досліджуваної кругової області і еталону за моментами другого порядку

Позначимо: M_{20}, M_{02}, M_{11}, – моменти другого порядку еталону, M^*_{20}, M^*_{02}, M^*_{11}, – моменти досліджуваної кругової області. Якщо припустити, що еталон співпадає з оберненою досліджуваною областю, то повинні виконуватися такі рівності:

$$\begin{cases} M_{20} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \left(x_i^* \cdot \cos\gamma - y_i^* \cdot \sin\gamma \right)^2 = \\ = M_{20}^* \cdot \cos^2\gamma - 2M_{11}^* \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma + M_{02}^* \cdot \sin^2\gamma \\ M_{02} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \left(x_i^* \cdot \sin\gamma + y_i^* \cdot \cos\gamma \right)^2 = \\ = M_{20}^* \cdot \sin^2\gamma + 2 \cdot M_{11}^* \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma + M_{02}^* \cdot \cos^2\gamma, \\ M_{11} = \sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \left(x_i^* \cdot \cos\gamma - y_i^* \cdot \sin\gamma \right) \cdot \left(x_i^* \cdot \sin\gamma + y_i^* \cdot \cos\gamma \right) = \\ = M_{11}^* \cdot \left(\cos^2\gamma - \sin^2\gamma \right) + \left(M_{20}^* - M_{02}^* \right) \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma \end{cases}$$

Розглядаємо їх як систему трьох рівнянь. З третього рівняння отримуємо відношення:

$$\cos\gamma \cdot \sin\gamma = \frac{M_{11} - \left(\cos^2\gamma - \sin^2\gamma \right) M_{11}^*}{M_{20}^* - M_{02}^*},$$

по якому потім визначаються знаки $cos\gamma$ і $sin\gamma$, однакові вони чи різні.

Підставивши вираз для $cos\gamma \cdot sin\gamma$ в різницю першого і другого рівнянь, отримаємо:

$$\cos^2\gamma - \sin^2\gamma = \frac{\left(M_{20} - M_{02} \right) \cdot \left(M_{20}^* - M_{02}^* \right) + 4 M_{11} \cdot M_{11}^*}{\left(M_{20}^* - M_{02}^* \right)^2 + 4 \cdot \left(M_{11}^* \right)^2} .$$

Перейменувавши змінні

$$c_1 = \left(M_{20} - M_{02} \right),$$

$$c_1^* = \left(M_{20}^* - M_{02}^* \right),$$

$$c_2 = 2 \cdot M_{11},$$

$$c_2^* = 2 \cdot M_{11}^*,$$

маємо вектор повороту:

$$\cos\gamma = \pm \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{c_1 \cdot c_1^* + c_2 \cdot c_2^*}{\left(c_1^* \right)^2 + \left(c_2^* \right)^2} \right)},$$

$$\sin\gamma = \pm \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{c_1 \cdot c_1^* + c_2 \cdot c_2^*}{\left(c_1^* \right)^2 + \left(c_2^* \right)^2} \right)}.$$

За знаком $\cos\gamma \cdot \sin\gamma$ визначаються знаки $cos\gamma$ і $sin\gamma$. Як при однакових знаках, так і при різних, остаточно кут повороту може бути γ, або $\gamma + \pi$.

Ознаками для продовження подальших обчислень є:

$$\cos\gamma \le 1, \quad \sin\gamma \le 1, (\cos^2\gamma + \sin^2\gamma) \le 1;$$

$$M_{20} + M_{02} = M^*_{20} + M^*_{02}.$$

Останню ознаку маємо з суми першого і другого рівнянь системи.

Висновки

Запропоновані алгоритми дозволяють визначати орієнтацію кругових областей у відеозображеннях, але, в залежності від алгоритму та вмісту і розташування кругової області можливі відхилення у значеннях кутів орієнтації. Як показав один з представлених експериментів, при малих розбіжностях в орієнтації можлива похибка навіть у напрямку обертання.

Проведені дослідження дозволили встановити, що на обчислення напрямку орієнтації кругових областей впливають:

- точність пошуку характерних точок;
- застосування тих чи інших алгоритмів визначення орієнтації;
- відмінності в ракурсі відеозйомки еталонного і зображення, що досліджується;
- розташування характерних точок всередині об'єкта або на його межі, особливо при зміні фону;
- розмір околів (вікон аналізу) характерних точок.

Видається доцільним продовжити дослідження точності визначення орієнтації кругових областей різними алгоритмами. Для зменшення впливу різних побічних факторів потрібно досліджувати штучні, а не реальні зображення.

Література

1. Lowe, D. (2004). Distinctive image features from scaleinvariant keypoints. *Intern. Journal of Computer Vision*, 60, 91–110.
2. Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Gool, L.V. (2008). SURF: speed up robust features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU*). (V. 110, 3, 346–359).
3. Mikolajczyk, K., Schmid, C. (2004). *Scale and affine invariant interest point detectors. Intern. Journal of Computer Vision*. (60(1), 63–86).
4. Tola, E., Lepetit, V., Fua, P. (2008). A Fast Local Descriptor for Dense Matching. Proc. of the *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'08)*, 1–8.
5. Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C., Fua, P. (2010). BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features. Proc. of the *11th European Conference on Computer Vision (ECCV'10)*.
6. Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G. (2011). ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Proc. of the *Intern. Conf. on Computer Vision (CVPR'11)*, 2564–2571.
7. Сабельніков, П.Ю., Сабельніков, Ю.А. (2021). Пошук тотожних областей у зображеннях із використанням інваріантних моментів. *Штучний інтелект*, 2, 55 – 62.
8. Anisimov, B.V., Kurganov, V.D., Zlobin, V.K. (1983). Raspoznavanie i cifrovaya obrabotka izobrazhenij: ucheb. posobie. M.: Vysshaya shkola, 295 s.
9. Glumov, N.I., Myasnikov, V.V., Sergeev, V.V. (2010). Obnaruzhenie i raspoznavanie obektov na izobrazheniyah: elektron. ucheb. posobie. Samara: Samarskij gos. aerokosmich. un-t imeni S. P. Koroleva, 141 c.
10. Оборона України https://www.youtube.com/watch?v=IB8IuWvWj5c
11. Ablamejko, S.V., Lagunovskij, D.M. (2000). Obrabotka izobrazhenij: tehnologiya, metody, primenenie: ucheb. posobie. M.: Amalfej, 304 s.

References

1. Lowe, D. (2004). Distinctive image features from scaleinvariant keypoints. *Intern. Journal of Computer Vision*, 60, 91–110.
2. Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., Gool, L.V. (2008). SURF: speed up robust features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU*), V. 110, 3. 346–359.
3. Mikolajczyk, K., Schmid, C. (2004). *Scale and affine invariant interest point detectors. Intern. Journal of Computer Vision*, 60(1), 63–86.
4. Tola, E., Lepetit, V., Fua, P. (2008). A Fast Local Descriptor for Dense Matching. Proc. of the *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'08)*, 1–8.
5. Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C., Fua, P. (2010). BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features. Proc. of the *11th European Conference on Computer Vision (ECCV'10)*.
6. Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., Bradski, G. (2011). ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Proc. of the *Intern. Conf. on Computer Vision (CVPR'11)*, 2564–2571.

7. Sabelnikov, P.Iu., Sabelnikov, Yu.A. (2021). Poshuk totozhnykh oblastei u zobrazhenniakh iz vykorystanniam invariantnykh momentiv. Shtuchnyi intelekt, 2. 55 – 62.

8. Anisimov, B.V., Kurganov, V.D., Zlobin, V.K. (1983). Raspoznavanie i cifrovaya obrabotka izobrazhenij: ucheb. posobie. M.: Vysshaya shkola, 295.

9. Glumov, N.I., Myasnikov, V.V., Sergeev, V.V. (2010). Obnaruzhenie i raspoznavanie obektov na izobrazheniyah: elektron. ucheb. posobie. Samara: Samarskij gos. aerokosmich. un-t imeni S. P. Koroleva, 141.

10. Oborona Ukrainy https://www.youtube.com/watch?v=IB8IuWvWj5c

11. Ablamejko, S.V., Lagunovskij, D.M. (2000). Obrabotka izobrazhenij: tehnologiya, metody, primenenie: ucheb. posobie. M.: Amalfej, 304.

The article has been sent to the editors 08.10.23.
After processing 25.10.23.
Submitted for printing 30.11.23.